

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE DIFERENTES MÉTODOS UTILIZADOS PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DA ILHA DE FERNANDO DE NORONHA

José Roberto Lopes da Silva¹; Abelardo Antônio de Assunção Montenegro², Thais Emanuelle Monteiro dos Santos³, Eduardo Silva dos Santos⁴, Bárbara Albuquerque Branco de Moraes⁵, Raissa Rattes Lima de Freitas⁶

RESUMO – Informações quantitativas de evaporação e evapotranspiração são necessárias aos vários campos científicos que tratam do manejo de água e solo. Dados de evapotranspiração são exigidos para o planejamento, construção e operação de reservatórios, sistemas de irrigação e drenagem. Muitas são as metodologias de estimativas da evapotranspiração de referência (ET_0). Neste trabalho foram avaliados alguns métodos de estimativa da ET_0 para as condições climáticas da Ilha de Fernando de Noronha. Os métodos avaliados foram os de Hargreaves (1977), Hargreaves-Samani (1985), Camargo, Jensen-Haise e Priestley & Taylor. As evapotranspirações estimadas por esses métodos foram correlacionadas com as obtidas pelo método padrão (Penman-Monteith FAO-56) e por meio de índices estatísticos foram classificadas. Os métodos de Hargreaves-Samani e Camargo apresentaram péssimo desempenho. Os métodos de Jensen-Haise e Priestley & Taylor apresentaram desempenho mediano para estimativa diária. Hargreaves (1977) foi o que se mostrou mais coerente e confiável em relação aos demais métodos para a estimativa da ET_0 diária, quando comparado com o método padrão da FAO. Os métodos de Priestley & Taylor e de Hargreaves (1977) podem ser utilizados para estimativa da ET_0 acumulada a cada 10 dias, na ausência de medições das variáveis requeridas para estimativa da ET_0 pelo método de Penman-Monteith.

ABSTRACT – Quantitative information from evaporation and evapotranspiration are required for many scientific fields that deal with water management and soil. Evapotranspiration data are required for planning, construction and operation of reservoirs, irrigation systems and drainage. There are many methods of estimating reference evapotranspiration (ET_0). This study evaluated several methods for estimating ET_0 for the weather conditions on the island of Fernando de Noronha. All methods were those of Hargreaves (1977), Hargreaves-Samani (1985), Camargo, Jensen-Haise and Priestley & Taylor. The evapotranspirations estimated by these methods were correlated with those obtained by the standard method (Penman-Monteith FAO-56) and by statistical indices have been classified. The methods of Hargreaves-Samani and Camargo had terrible performance. The Jensen-Haise methods and Priestley & Taylor presented to estimate daily average performance. Hargreaves (1977) was the one that was more consistent and reliable in comparison with other methods for estimating ET_0 daily, compared with the FAO standard method. The methods of Priestley & Taylor and Hargreaves (1977) can be used for estimating ET_0 accumulated every 10 days in the absence of measurements of the variables required for estimating ET_0 by Penman-Monteith.

Palavras-Chave – Evapotranspiração, Penman-Monteith.

¹ Bolsista CNPq-EXP-II, Departamento de Tecnologia Rural/UFRPE, Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900 – Recife, PE. Fone: (81) 3320-6264, e-mail: rlopes.s@gmail.com

² Professor Adjunto UFRPE, Departamento de Tecnologia Rural/UFRPE, Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900 – Recife, PE. Fone: (81) 3320-6264, e-mail: Abelardo.montenegro@yahoo.com.br

³ Professora adjunta UFBA/ICADS, Rua Professor José Seabra, s/n, CEP 47.805-100. E-mail: thais.emanuelle@ufba.br

⁴ Aluno de Doutorado UFRPE, Departamento de Tecnologia Rural/UFRPE, Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900 – Recife PE. Fone: (81) 3320-6264, e-mail: silvaufpe@yahoo.com.br

⁵ Aluna de graduação UFRPE, Departamento de Tecnologia Rural/UFRPE, Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, Recife-PE.

⁶ Aluna de graduação UFRPE, Departamento de Tecnologia Rural/UFRPE, Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, Recife-PE.

1. INTRODUÇÃO

Cerca de 70% da quantidade de água precipitada sobre a superfície terrestre retorna à atmosfera pelos efeitos da evaporação e transpiração. Devido a isso, a mensuração desses dois processos é fundamental para a elaboração de projetos, visto que afetam diretamente o manejo de bacias hidrográficas, a determinação da capacidade do reservatório, projetos de irrigação e drenagem e a disponibilidade para o abastecimento de cidades, dentre outros.

A evapotranspiração é considerada um importante componente ciclo hidrológico e consiste na atuação de dois processos distintos os quais atuam conjuntamente na hidrosfera: a evaporação e a transpiração. Ambos funcionam como transporte hídrico na interface superfície terrestre – atmosfera, por meio da evaporação hídrica da superfície do solo ou de processos fisiológicos animais e vegetais (Ferreira e Meirelles, 2011). Segundo Araújo *et al.* (2007), a evapotranspiração é controlada pelo balanço de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas.

Segundo Oliveira *et al.* (2008), o manejo da água no solo é, em geral, conduzido através da avaliação da umidade ou por meio de estimativa da evapotranspiração da cultura, sendo este método mais usado em virtude da sua maior praticidade e da menor exigência de mão-de-obra. Silva *et al.* (2011) também apontam a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) como fundamental para o manejo eficiente de sistemas de irrigação.

A determinação da ET_0 pode ser feita por meio de métodos de estimativa (indiretos), os quais são menos onerosos que os diretos, uma vez que sua aplicação é baseada em elementos meteorológicos medidos em estações apropriadas (Pereira *et al.*, 1997). Dentre os modelos indiretos, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) recomenda o uso do método de Penman-Monteith como método padrão para a estimativa de ET_0 , devendo ser utilizado na avaliação de outros métodos de estimativa (Allen *et al.*, 1998), uma vez que este mostra-se eficiente em diversas condições climáticas. Entretanto, esse método necessita de grande número de elementos meteorológicos, que nem sempre estão disponíveis em algumas regiões, levando, dessa forma, ao uso de equações mais simples (Camargo e Camargo, 2000).

Segundo Silva e Rao (2006) existem várias técnicas de medidas e modelos de estimativa têm sido propostos e usados para a determinação da evapotranspiração. Mendonça *et al.* (2003) afirmam que diversos pesquisadores em todo o mundo propuseram modelos indiretos para a estimativa da ET_0 , com as mais diferentes concepções e número de variáveis envolvidas.

Allen *et al.* (1998) comentam que, quando as variáveis medidas não são suficientes para estimar a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (PM), padrão FAO, então o método de Hargreaves (HG) pode ser utilizado.

Conforme Pereira *et al.* (2009), antes de se aplicar um método para determinado local, é necessário verificar o desempenho deste e, quando necessário, fazer calibrações a fim de minimizar erros de estimativa. Esse desempenho tem sido analisado com a comparação dos respectivos métodos ao método de Penman-Monteith-FAO.

Como o método de Penman-Monteith requer elevado número de variáveis atmosféricas na sua formulação, que muitas vezes não estão disponíveis em condições reais de campo, alguns estudos têm sido desenvolvidos visando comparar outros métodos com o modelo padrão estabelecido pela FAO e dados experimentais em regiões específicas (Silva *et al.* (2003); Borges e Mendiando (2007); Suleiman e Hoogenboom (2007); Santos *et al.* (2008))

Na escolha de um método para determinação da evapotranspiração, deve-se levar em consideração a praticidade e a precisão, pois, apesar desses métodos teóricos e micrometereológicos se basearem em princípios físicos, eles apresentam limitações, principalmente quanto à instrumentação, o que pode restringir suas utilizações (Berlato e Molion, 1981).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em comparação com o método padrão de Penman-Monteith-FAO em ilha oceânica, com condições climáticas de regime de aridez.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Fernando de Noronha é um arquipélago isolado do Atlântico Equatorial, formado por uma ilha oceânica principal e mais vinte ilhotas, totalizando área de 20 km². A Ilha principal tem 17 km², com cerca de 10 km de comprimento e 3,5 km de largura máxima, com diversas elevações situadas na parte central e ocidental (SECTMA, 2006).

O clima do arquipélago, segundo a classificação de Köppen, enquadra-se no tipo Aw', semelhante àquele do Agreste Nordeste, sobretudo pelas estações secas e chuvosas bem definidas e acentuada irregularidade na precipitação pluvial entre os anos (Marques *et al.*, 2007a).

A precipitação pluvial média anual, resultante de um período de observações de 85 anos (1910-1994), é de 1.275 mm, estendendo-se a estação chuvosa de fevereiro a julho. Por outro lado, a média de evapotranspiração potencial alcança 1.942 mm ano⁻¹, favorecida pela constância e intensidade dos ventos de sul e sudeste, suplantando a precipitação pluvial em dois terços dos meses do ano. A temperatura média anual situa-se em torno de 25°C, com as máximas não ultrapassando os 31°C e as mínimas superiores a 18°C (Marques *et al.*, 2007b). Os solos dominantes nas principais bacias hidrográficas são os Cambissolos Háplicos, os Neossolos Litólicos e os Vertissolos (Ribeiro *et al.*, 2005).

O presente estudo foi realizado a partir de um banco de dados de Plataforma de Coletas de Dados (PCD) do Laboratório de Meteorologia do Estado de Pernambuco (LAMEPE), instalada na Ilha principal do Arquipélago de Fernando de Noronha. Realizou-se uma análise comparativa de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência e seus desempenhos em relação ao método padrão de Penman-Monteith-FAO.

A análise comparativa foi realizada em três anos consecutivos de dados disponíveis (2003 a 2005). Não foi possível a utilização de anos posteriores em função da ausência de dados consistentes de umidade relativa, sendo esta uma das variáveis utilizadas pelo método Padrão de Penman-Monteith. Por conta da ausência dessa informação, o presente trabalho buscou avaliar outros métodos para estimativa da evapotranspiração de referência que não utilizam a umidade relativa na sua determinação e desta forma orientar ao usuário qual o método mais indicado para a localidade na ausência de alguma variável que seja utilizada pelo método padrão da FAO. Realizou-se a comparação da evapotranspiração de referencia estimada por diferentes métodos em escala diária e acumulada a cada cinco dias e a cada dez dias.

2.2. Métodos Avaliados

2.2.1. Método de Penman-Monteith

Esse método foi divulgado pela FAO (Food and Agriculture Organization) das Nações Unidas como método padrão para obtenção dos valores diários de evapotranspiração de referência, conhecido universalmente como método de Penman-Monteith FAO-56 (Allen *et al.*, 1998). A dificuldade de utilização desse método é que ele requer medidas de muitas variáveis meteorológicas, como: temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento.

A equação 1 descreve como são obtidos os valores de evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith FAO-56.

$$ET_{0PM} = \frac{0,408\Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273,16} U_2 * (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

em que:

ET_{0PM} = Evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (mm.dia⁻¹);

R_n = Saldo de radiação (MJ.m⁻².dia⁻¹);

G = Densidade de fluxo ou fluxo total diário de calor no solo (MJ.m⁻².dia⁻¹);

Δ = Declinação da curva de saturação do vapor de água (kPa °C⁻¹);

U_2 = Velocidade do vento (média diária) a 2 m acima da superfície do solo (m.s^{-1});

T_{med} = Temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$);

e_s = Pressão de saturação do vapor (kPa);

e_a = Pressão real do vapor (kPa);

λ = Fator psicrométrico (MJ kg^{-1})

Considera-se o valor de $G=0$, quando a estação não fornecer tal informação.

2.2.2. Método de Hargreaves (1977)

O cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves é menos complexo do que o método de Penman-Monteith. Neste caso, pode-se obter os valores de evapotranspiração de referência, em milímetros diários, pelo método de Hargreaves (1977), descrito pela equação 2.

$$ET_{\text{HG}} = 0,0075 * R_{\text{s mm}} * (1,8 T_{\text{med}} + 32) \quad (2)$$

em que T_{med} é a temperatura média e $R_{\text{s mm}}$ é a radiação solar global convertida em unidades de água evaporada (milímetros) obtida pela equação 3.

$$R_{\text{s(mm)}} = \frac{R_s}{\lambda} \quad (3)$$

em que R_s é a radiação solar global ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), e λ é o calor latente de vaporização (MJ.kg^{-1})

2.2.3. Método de Hargreaves-Samani (1985)

Em 1985 Samani propôs uma modificação no método de Hargreaves e incrementou na equação valores de temperatura máxima e mínima, e substituiu a radiação solar global em milímetros pela radiação no topo da atmosfera. Este método é utilizado quando não existem dados de radiação global solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Neste caso, pode-se obter os valores de evapotranspiração de referência, em milímetros diários, pelo método de Hargreaves-Samani (1985), descrito pela equação 4.

$$ET_{0 \text{ HG}} = 0,0023 (T_{\text{med}} + 17,8) * (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})^{0,5} * R_a \quad (4)$$

em que:

$ET_{0 \text{ HG}}$ = Evapotranspiração de referência de Hargreaves (mm.dia^{-1})

T_{med} = Temperatura média ($^{\circ}\text{C}$)

T_{max} = Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)

T_{min} = Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$)

R_a = Radiação solar extra-terrestre (mm.dia^{-1})

2.2.4. Método de Camargo

Conforme Fernandes *et al.* (2010), Camargo, baseado em resultados obtidos pelo método de Thornthwaite, propôs um método, mais simples e com eficiência semelhante ao de Thornthwaite, porém em escala diária. Essa metodologia é baseada apenas em dados de temperatura média do ar e radiação solar extraterrestre. O método de Camargo é obtido pela equação 5.

$$ET_{0\text{ Cam}} = K * R_a * T_{med} * ND \quad (5)$$

em que:

$ET_{0\text{ Cam}}$ = Evapotranspiração de referência de Camargo (mm.dia^{-1})

R_a = Radiação solar extraterrestre incidente acima da atmosfera, no dia 15 de cada mês, em mm.dia^{-1} de evaporação equivalente

T_{med} = Temperatura média diária ($^{\circ}\text{C}$)

K = Fator de ajuste

ND = Número de dias do período observado

K é um fator de ajuste que varia com a temperatura média anual ($^{\circ}\text{C}$) do local, conforme os limites estabelecidos na Tabela 1.

Tabela 1. Valor de K em relação à temperatura média anual.

T_a ($^{\circ}\text{C}$)	Valor de K
< 23,5	0,01
23,6 a 24,5	0,0105
24,6 a 25,5	0,011
25,6 a 26,5	0,0115
26,6 a 27,5	0,012
> 27,5	0,013

Fonte: Camargo e Camargo (2000).

2.2.5. Método de Priestley & Taylor

O método de Priestley e Taylor (1972) é uma aproximação do método de Penman. Os autores simplificaram a equação de Penman permanecendo apenas com o saldo de radiação corrigido por

coeficiente empírico, chamado de parâmetro de Priestley & Taylor. Esse parâmetro incorpora a energia adicional ao processo de evapotranspiração decorrente do termo aerodinâmico.

Os valores de evapotranspiração estimados pelo método de Priestley & Taylor são obtidos pela equação 6.

$$ET_{0PT} = \frac{\alpha * W * (R_n - G)}{\lambda} \quad (6)$$

em que: α é o parâmetro de Priestley & Taylor. Os autores, mostraram que esse coeficiente varia de 1,08 a 1,34, com média de 1,26 em condições mínimas de advecção regional (Silva *et al.* 2005). No presente trabalho utilizou-se o valor médio (1,26). W é o fator de ponderação, obtido pela equação (7), R_n é saldo de radiação, G é a densidade do fluxo de calor no solo, e o calor latente de vaporização ($2,45 \text{ MJ.kg}^{-1}$).

$$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \quad (7)$$

em que Δ é a inclinação da curva de pressão de saturação e vapor e temperatura do ar, obtida pela equação (8), e γ é a constante psicrométrica, obtida pela equação (9).

$$\Delta = \frac{4098 * e_s}{(T_{med} + 237,3)^2} \quad (8)$$

sendo:

T_{med} = Temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$);

e_s = Pressão de saturação do vapor (kPa);

$$\gamma = 0,664742 * 10^{-3} * P_a \quad (9)$$

em que P_a é a pressão atmosférica, sendo a mesma estimada pela equação 10.

$$P_a = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065 * z}{293} \right)^{5,26} \quad (10)$$

em que z é a altitude da estação de coleta dos dados meteorológicos.

2.2.6. Método de Jensen-Haise

Este método foi desenvolvido por Jensen e Haise (1963) para regiões áridas e semiáridas. Consiste em estimar a evapotranspiração de referência apenas com dados de temperatura do ar e radiação solar (Pereira *et al.*, 1997). A equação 11 descreve como são obtidos os valores de evapotranspiração por este método.

$$ET_{0JH} = R_{s_{mm}} (0,025 * T_{med} + 0,078) \quad (11)$$

em que Rs_{mm} é a radiação solar global convertida em unidades de água evaporada (milímetros) e pode ser obtida conforme a equação 3.

2.3. Análise estatística

Avaliou-se a precisão dos métodos de estimativa de ET_0 com base no coeficiente de correlação (r), no índice de concordância (d) (Willmott, 1982) e no coeficiente de confiança ou desempenho (c), o qual é o produto entre r e d .

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N [|P_i - O_{med}| + |O_i - O_{med}|]^2} \right], \quad 0 \leq d \leq 1 \quad (12)$$

$$c = r \times d \quad (13)$$

O índice $c = 0$ indica confiança nula e o índice $c = 1$ significa confiança perfeita. Na Tabela 2 se apresentam os valores do índice c e sua classificação, de acordo com Camargo e Sentelhas (1997). Também se obteve o erro quadrático médio pela seguinte equação:

$$EQM = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N - 1} \right]^{0,5} \quad (14)$$

em que:

d – índice de concordância ou ajuste

EQM – Erro quadrático médio, $mm \, d^{-1}$

P_i – evapotranspiração de referência obtida pelo método considerado, $mm \, d^{-1}$

O_i – evapotranspiração de referência obtida pelo método-padrão, $mm \, d^{-1}$

O_{med} – média dos valores da evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão, $mm \, d^{-1}$

N – número de observações

Tabela 2. Classificação do índice de confiança ou desempenho (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997)

c	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão apresentados os gráficos e os modelos resultantes da regressão linear considerando os métodos de estimativa da evapotranspiração diária de Penman-Monteith, Hargreaves (1977), Hargreaves-Samani (1985), Camargo, Jensen-Haise e Priestley & Taylor para os anos de 2003, 2004 e 2005, totalizando 1042 dias (95% dos dados possíveis). As estimativas foram submetidas à análise comparativa com o método padrão, obtendo-se o índice de correlação (r), o índice de concordância (d), índice de confiança(c) e o erro quadrado médio.

Quando se compara dados de evapotranspiração de referência estimada pelo método de Hargreaves-Samani, com os encontrados pelo método de Penman-Monteith-FAO, espera-se que os resultados apresentem boa correlação. Diversos trabalhos da literatura apontam para tal comportamento, o que não ocorreu neste estudo.

Nota-se na Figura 1a que o método de Hargreaves-Samani apresentou correlação muito baixa ($r = 0,081$) com método de Penman-Monteith, apresentando um péssimo desempenho de acordo com a classificação de Camargo e Sentelhas (1997), conforme os índices de concordância (d) e confiança (c), Tabela 3. Tal resultado difere dos encontrados por vários autores dentre eles: Gonçalves *et al.* (2009), que encontraram boa correlação para o município de Sobral no Ceará para o ano de 2006; Souza *et al.* (2010) em análise da evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe; e Silva *et al.* (2011) que também encontrou boa correlação da evapotranspiração diária entre os métodos de Hargreaves-Samani e Penman-Monteith para o município de Uberlândia-MG, no ano de 2004. Tal comportamento possivelmente pode ser explicado pela alta variabilidade das variáveis hidrodinâmicas locais que são utilizadas no cálculo do método de Penman-Monteith e que são desconsideradas no método de Hargreaves-Samani, que utiliza apenas valores de temperatura e radiação solar extraterrestre. Por exemplo, a velocidade do vento teve uma variação de 2,04 a 12,73 m.s⁻¹ no período analisado; outra variável que apresentou variabilidade moderada a elevada foi a umidade relativa, tal comportamento possivelmente esta relacionado às condições climáticas locais, já que se trata de uma ilha oceânica de pequena dimensão. Porém, Silva *et al.* (2003) comparando diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET₀) com a determinada em lisímetro de pesagem no município de Petrolina-PE, encontrou um desempenho muito bom para o método de Penman-Monteith e péssimo desempenho para o método de Hargreaves-Samani (1985); Reis *et al.* (2007), avaliando métodos de estimativa da ET₀ para Venda Nova do Imigrante, Espírito Santo (ES), em comparação ao método padrão-FAO, no período seco (junho a agosto), em escala diária, obtiveram desempenho classificado como péssimo, corroborando com o resultado encontrado neste trabalho.

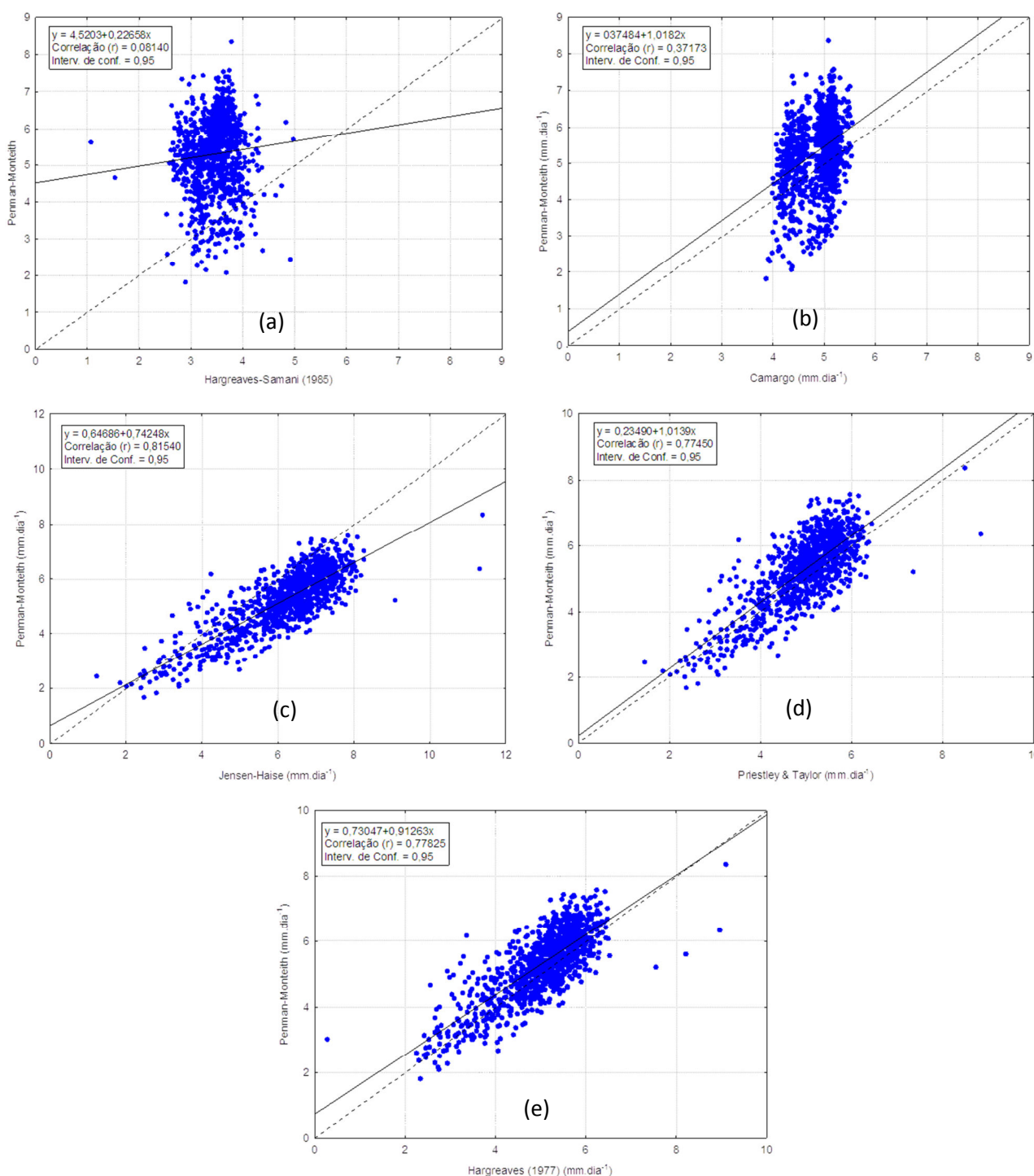


Figura 1. Análise de regressão da ET_0 em escala diária entre os métodos de Penman-Monteith x Hargreaves-Samani (1985) (a), Penman-Monteith x Camargo (b), Penman-Monteith x Jensen-Haise (c), Penman-Monteith x Priestley & Taylor (d) e Penman-Monteith x Hargreaves (1977) (e).

Ainda na Figura 1b observa-se que o método de Camargo apresentou desempenho um pouco melhor que o de Hargreaves-Samani (1985) em relação ao método padrão, porém a correlação é considerada baixa ($r = 0,37$), o método também apresentou péssimo desempenho, corroborando com

Gonçalves *et al.* (2009) que comparou diversos métodos para estimativa da evapotranspiração de referência no município de Sobral-CE, e também encontrou um péssimo desempenho para o método de Camargo. Silva *et al.* (2011) avaliaram o desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia-MG e encontraram desempenho mediano para o método de Camargo em relação ao de Penman-Monteith.

Pode-se observar na Figura 1c e 1d que os métodos de Jensen-Haise e Priestley & Taylor apresentaram coeficiente de correlação igual a 0,81 e 0,77, respectivamente. Tais métodos apresentaram desempenho mediano, conforme Tabela 3. Souza *et al.* (2010), avaliando a evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe, encontrou ótimo desempenho para ambos os métodos. Santos *et al.* (2008), avaliando desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semiárido nordestino, testou o desempenho de alguns métodos de estimativa da ET_0 , e encontrou um desempenho muito bom para o método de Penman-Monteith e para o método de Jensen-Haise em relação lisímetro de pesagem. Silva *et al.* (2011) encontrou ótimo desempenho entre o método de Priestley & Taylor em relação ao de Penman-Monteith na estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia-MG.

Observa-se na Figura 1e que o método de Hargreaves (1977) foi o que apresentou o melhor desempenho entre os métodos avaliados. O método de Hargreaves apresentou um coeficiente de correlação igual a 0,78, e foi o que apresentou os melhores coeficientes de concordância (d) e confiança (c), bem como o menor erro quadrático médio, 0,85; 0,66 e 0,71, respectivamente. Tais coeficientes proporcionaram ao método um bom desempenho conforme a classificação de Camargo e Sentelhas (1997). Esse resultado corrobora com o encontrado por Silva *et al.* (2003), em estudo de comparação de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração em Petrolina-PE, tais autores encontraram um desempenho muito bom para o método de Penman-Monteith e um bom desempenho para o método de Hargreaves (1977), em relação ao lisímetro de pesagem.

Confrontando o presente trabalho ao de Silva *et al.* (2003), pode-se observar que os resultados encontrados corroboram para o método de Hargreaves (1977), que apresentou um bom desempenho, e para o método de Hargreaves-Samani (1985) que apresentou péssimo desempenho.

Além da análise de desempenho diário, buscou-se avaliar o desempenho dos métodos acumulando a evapotranspiração de cinco em cinco dias durante o mesmo período analisado. Pode-se observar que o desempenho dos métodos de Hargreaves-Samani (1985) e Camargo em relação ao de Penman-Monteith não apresentou mudança significativa, mantendo-se baixos índices de correlação (r), de concordância (d) e de confiança (c) classificando-os como péssimo. Já o método de Jensen-Haise acabou reduzindo a concordância e a confiança, o que promoveu perda de sensibilidade do método e consequente mudança de classificação de mediano para sofrível. O método de Priestley & Taylor, também apresentou uma redução na concordância e confiança dos

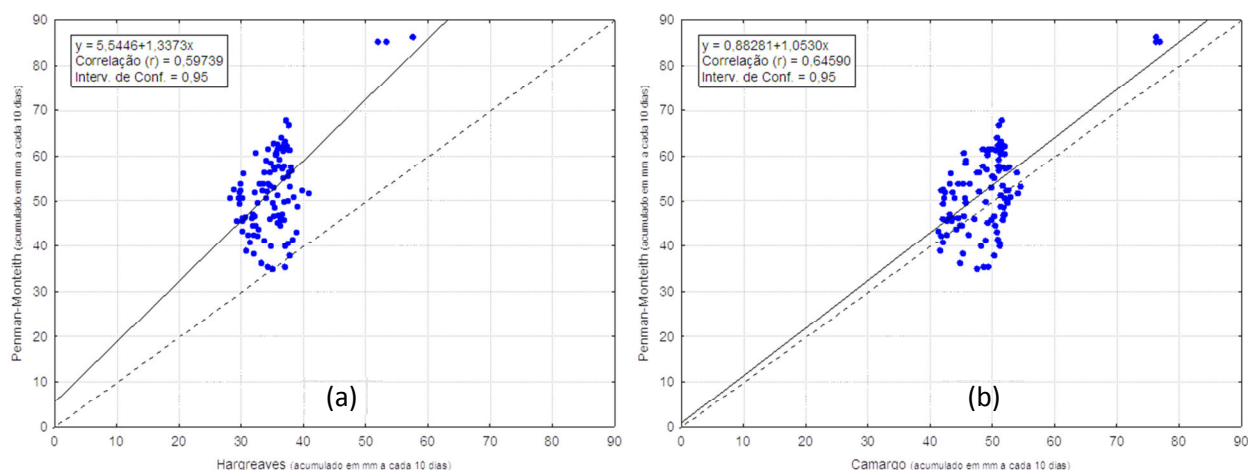
dados, bem como aumento no erro quadrático médio, porém manteve-se na classificação de mediano, conforme os índices analisados. O método de Hargreaves (1977) também apresentou redução nos seus índices e aumento do erro quadrático médio, igualmente ao método de Jensen-Haise, que apresentou mudança de classificação de bom para mediano. Tal agrupamento de dados não apresentou desempenho satisfatório, não sendo indicado para a localidade.

Ainda no presente estudo propôs realizar um agrupamento de dados de 10 em 10 dias. Pode observar que houve uma ligeira melhora na correlação entre Penman-Monteith e Hargreaves-Samani e Penman-Monteith e Camargo, que foi igual a 0,58 e 0,60 respectivamente. Porém, de acordo com os índices de concordância e confiança, ambos os métodos estão classificados como péssimos, conforme Tabela 3.

Na Figura 2 estão apresentados os gráficos e os modelos resultantes da regressão linear considerando os métodos de estimativa da evapotranspiração acumulada a cada 10 dias de Penman-Monteith, Hargreaves (1977), Hargreaves-Samani (1985), Camargo, Jensen-Haise e Priestley & Taylor, assim como na análise diária os dados foram submetidos à análise obtendo-se o índice de correlação (r), o índice de concordância (d), índice de confiança (c) e o erro quadrado médio (EQM).

Pode-se verificar na Figura 2c que o método de Jensen-Haise apresentou comportamento semelhante à avaliação diária da ET_0 , apresentando coeficiente de correlação igual a 0,86, coeficiente de concordância (d) de 0,74 e coeficiente de confiança de 0,64, apresentando desta forma desempenho mediano. Já na Figura 2d, pode-se verificar que o método de Priestley & Taylor apresentou uma melhora nos coeficientes de correlação, concordância e confiança, melhorando seu desempenho de mediano para bom. O método de Hargreaves (1977) também apresentou bom desempenho para a análise da evapotranspiração acumulada a cada 10 dias.

Diante dos resultados encontrados orienta-se utilizar os métodos de Priestley & Taylor e de Hargreaves (1977) para estimativa da ET_0 acumulada a cada 10 dias, na ausência de variáveis utilizadas para estimativa da ET_0 pelo método de Penman-Monteith.



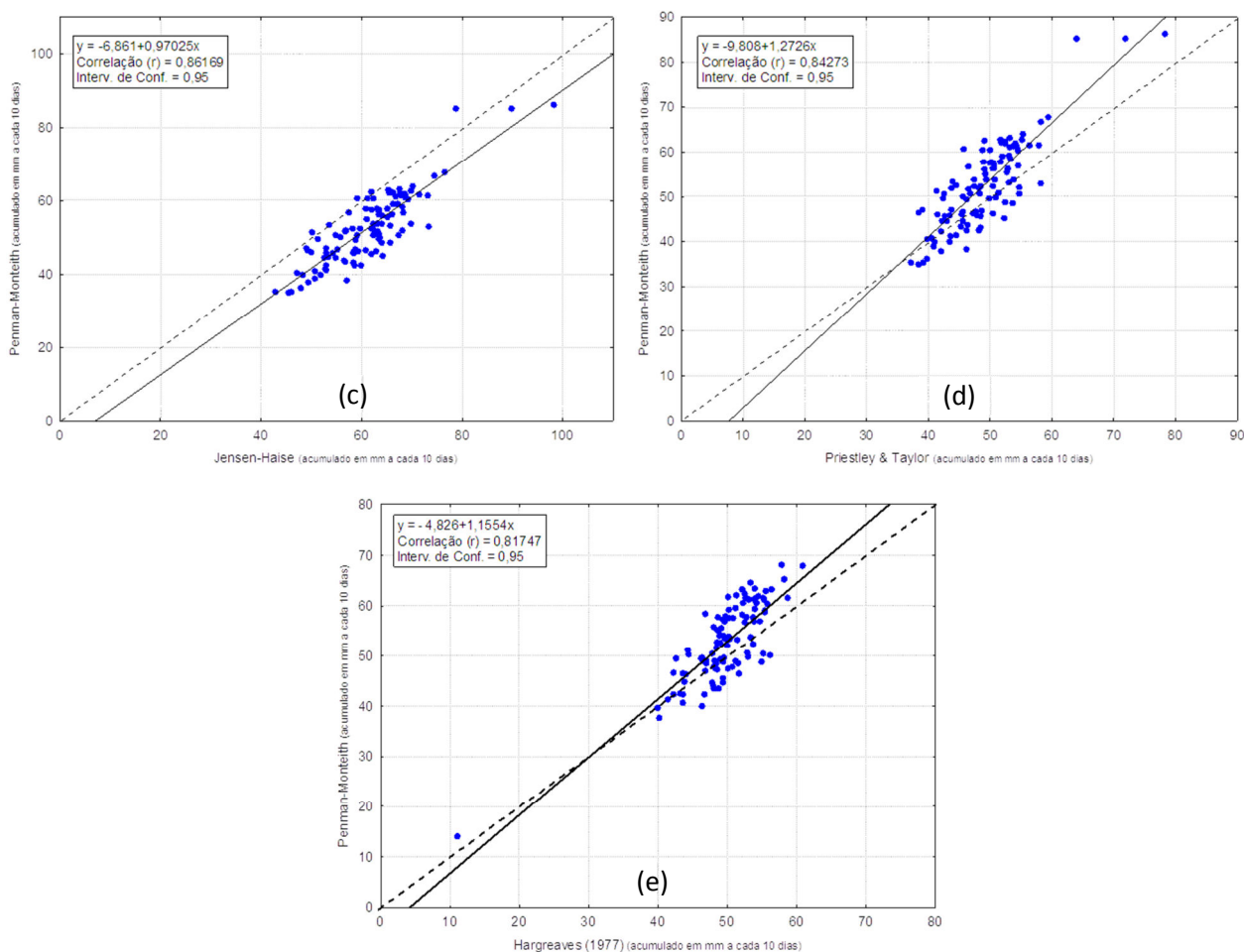


Figura 2. Análise de regressão da ET_0 acumulada a cada 10 dias entre os métodos de Penman-Monteith x Hargreaves (a), Penman-Monteith x Camargo (b), Penman-Monteith x Jensen-Haise (c), Penman-Monteith x Priestley & Taylor (d) e Penman-Monteith x Hargreaves (1977) (e).

A Tabela 3 apresenta os valores de correlação dos métodos avaliados em relação ao método padrão de Penman-Monteith-FAO, bem como os valores do coeficiente de concordância de Wilmont (d), de confiança (c), o erro quadrático médio (EQM) e a classificação dos métodos de acordo com Camargo e Sentelhas (1997) para a investigação diária da ET_0 , acumulada a cada 5 dias e acumulada a cada 10 dias.

Tabela 3. Desempenho dos métodos de estimativa da ET_0 , segundo índice de desempenho “c”, para A Ilha de Fernando de Noronha.

Investigação Diária	r	d	c	EQM	Classificação
Penman-Monteith x Hargreaves-Samani (1985)	0,08	0,03	0,002	2,11	Péssimo
Penman-Monteith x Camargo	0,37	0,34	0,13	1,05	Péssimo
Penman-Monteith x Jensen-Haise	0,81	0,75	0,61	1,18	Mediano
Penman-Monteith x Priestley & Taylor	0,77	0,83	0,64	0,75	Mediano
Penman-Monteith x Hargreaves (1977)	0,78	0,85	0,66	0,71	Bom

Acumulado a cada 5 dias					
Penman-Monteith x Hargreaves-Samani (1985)	0,35	0,09	0,03	4,43	Péssimo
Penman-Monteith x Camargo	0,45	0,44	0,20	1,91	Péssimo
Penman-Monteith x Jensen-Haise	0,82	0,68	0,56	2,27	Sofrível
Penman-Monteith x Priestley & Taylor	0,79	0,79	0,62	1,43	Mediano
Penman-Monteith x Hargreaves (1977)	0,78	0,80	0,62	1,31	Mediano
Acumulado a cada 10 dias					
Penman-Monteith x Hargreaves-Samani (1985)	0,58	0,16	0,09	6,13	Péssimo
Penman-Monteith x Camargo	0,60	0,61	0,37	2,47	Péssimo
Penman-Monteith x Jensen-Haise	0,86	0,74	0,64	3,17	Mediano
Penman-Monteith x Priestley & Taylor	0,84	0,83	0,70	2,07	Bom
Penman-Monteith x Hargreaves (1977)	0,82	0,83	0,68	1,73	Bom

CONCLUSÕES

Na ausência de parâmetros para estimativa da evapotranspiração de referência pelo método padrão na Ilha de Fernando de Noronha, não se recomenda a utilização do método de Hargreaves-Samani (1985) e nem de Camargo, pois o mesmo obteve péssimo desempenho.

O método de Hargreaves (1977) mostrou-se mais adequado e confiável em relação aos demais métodos para a estimativa da ET_0 diária.

A avaliação da ET_0 acumulada a cada 5 dias não é indicada, pois tal agrupamento de dados não apresentou desempenho satisfatório para a localidade.

Conclui-se que os métodos de Priestley & Taylor e de Hargreaves (1977) podem ser utilizados para estimativa da ET_0 acumulada a cada 10 dias, na ausência de variáveis utilizadas para estimativa da ET_0 pelo método de Penman-Monteith.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). *Crop e evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requeriments*. Roma: FAO, (FAO Irrigation and Drainager Paper, 56), 297p.
- ARAÚJO, W. F.; COSTA, S.A.A.; SANTOS, A.E. (2007). “*Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) para Boa Vista, RR*”. Caatinga (Mossoró, Brasil), v.20, n.4, p.84-88.
- BERLATO, M.A.; MOLION, L.C.B. (1981). “*Evaporação e evapotranspiração*”. Porto Alegre: IPAGRO/Secretaria de Agricultura, Boletim Técnico 7, 95p.
- BORGES, A.C.; MENDIONDO, E. M. (2007). “*Comparação entre equações empíricas para a estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga-SP*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.11, n.3, p.293-300.
- CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. (2000). “*Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial*”. Bragantia, Campinas, v.59, n.2, p.125-137.
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. (1997). “*Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil*”. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria. v.5, n.1, p.89-97.
- FERNANDES, D.S.; HEINEMANN, A.B.; PAZ, R.L.; AMORIM, A.O. (2010). “*Evapotranspiração – Uma Revisão sobre os Métodos Empíricos*”. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644, Documentos 263, 44p.
- FERREIRA, A.S.; MEIRELLES, M.S.P. (2011). “*Implementação preliminar do modelo SEBAL para estimativa da evapotranspiração na Mesorregião do Sul Goiano*”. In. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.5576.
- GONÇALVES, F.M., FEITOSA, H.O., CARVALHO, C.M., GOMES FILHO, R.R., VALNIR JÚNIOR, M. (2009). “*Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral-CE*”. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.3, n.2, p.71-77.
- MARQUES, F.A.; RIBEIRO, M.R.; BITTAR, S. M.B.; LIMA NETO, J. A.; LIMA, J. F. W. F. (2007a). “*Caracterização e classificação de Cambissolos do Arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco*”. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.1023-1034.
- MARQUES, F. A.; RIBEIRO, M. R.; BITTAR, S. M. B.; TAVARES FILHO, A. N.; LIMA, J. F. W. F. (2007b). “*Caracterização e classificação de Neossolos da ilha de Fernando de Noronha (PE)*”. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, n.6, p.1553-1562.
- MENDONÇA, J. C.; SOUZA, E. F.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. (2003). “*Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) na região Norte Fluminense, RJ*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.2, p.275-279.
- OLIVEIRA, R. A.; TAGLIAFERRE, C.; SEDIYAMA, G. C.; MATERAM, F. J. V.; CECOM, P. R. (2008). “*Desempenho do Irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, v.12, n.2, p.166-173.

- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. (1997). *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 183p.
- PEREIRA, D. R.; YANAGIR, S. N. M.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; SILVA, L. A. (2009). “Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG”. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.9, p.2488-2493.
- REIS, E. F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M.; TAGLIAFERRE, C. (2007). “Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do Estado do Espírito Santo no período seco”. *Idésia*, Arica, v. 25, n. 3, p. 75-84.
- RIBEIRO, M. R.; MARQUES, F. A.; BITTAR, S. M. B.; FERRAZ, F. B.; JACOMINE, P. K. T.; LIMA, J. F. W. F. (2005). “Caracterização e classificação dos solos do Arquipélago de Fernando de Noronha”. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Anais...Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CD Rom.
- SANTOS, F.X.; RODRIGUES, J.J.; MONTENEGRO, A.A.A.; MOURA, R.F. (2008). “Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semi-árido nordestino”. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.28, n.1, p.1155-124.
- SECRETARIA DE CIÊNCIA TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE – SECTMA (2006). *Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco*. Recife: A Secretaria, 104p.
- SILVA, L. C.; RAO, T. V. R. (2006). “Avaliação de métodos para estimativa de coeficientes da cultura de amendoim”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.1, p.128-131.
- SILVA, T.J.A., MONTENEGRO, A.A.A., RODRIGUES, J.J.V., BONFIM, E.M.S. (2003). “Aplicação de lisímetro de pesagem hidráulica na determinação da evapotranspiração de referência, em Petrolina-PE”. *Revista de Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.23, n.3, p.511-520.
- SILVA, V. J.; CARVALHO, H. P.; SILVA, C. R.; CAMARGO, R.; TEODORO, R. E. F. (2011). “Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG”. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 95-101.
- SILVA, V.P.R.; BELO FILHO, A.F.; SILVA, B.B.; CAMPOS, J.H.BC. (2005). “Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, p.547-553.
- SOUSA, I.F., SILVA, V.P.R, SABINO, F.G., NETTO, A.O.A., BRUCE K. N. SILVA, B.K.N., AZEVEDO, P.V. (2010). “Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.6, p.633–644.
- SULEIMAN, A. A.; HOOGENBOOM, G. (2007). “Comparison of Priestley-Taylor and FAO-56 Penman-Monteith for daily reference evapotranspiration estimation in Georgia”. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.33, n.2, 175-182.
- WILLMOTT, C.J. (1982). “Some comments on the evaluation of model performance”. *American Meteorological Society*, New York. v.63, n.11, p.1309-1313.